

2026 г.

создания производства пеностекла и пористых стеклокерамических материалов в России встал особенно остро, причиной этому являются суровые климатические условия, ужесточение теплотехнических требований к ограждающим конструкциям, рост цен на данный вид теплоизоляционных материалов и др. Именно в этот период в России возобновляется производство пеностекла на заводах: «СТЭС-Владимир» (г. Владимир), «Пеноситал» (г. Пермь), «PENOSTEK» и «SAiTAX» (Московская область) и др.

Производят пеностекло и пористые стеклокерамические материалы как в России, так и за рубежом, в основном по двухстадийной технологии. На первом этапе производят варку стекла. Затем, остывшую массу размалывают с газообразующими добавками и повторно нагревают с последующим отжигом полученного материала. Использование данной технологии привело к значительному удорожанию стоимости конечного продукта, отказу от использования в производстве дешевого сырья. Максимальная температура эксплуатации таких материалов не превышает +600 °С. Все больший интерес представляет внедрение в производство одностадийной технологии получения пористых стеклокерамических материалов. Данная технология основана на использовании в качестве сырья дешевых кремнистых пород. Запасы сырья в России огромны. С использованием данной технологии стало возможным получение пористых стеклокерамических материалов с высокой максимальной температурой эксплуатации, что значительно расширит рынок сбыта продукции.

Диссертационное исследование Ермакова А.А. является актуальным и посвящено разработке научно-обоснованного технологического решения получения пористых стеклокерамических материалов из цеолитсодержащих и кремнистых пород за один нагрев шихты, отличающихся высокими физико-механическими, теплофизическими, гидрофизическими свойствами, а также относительно низкой себестоимостью производства.

Оценка содержания работы

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, включающего 159 наименований, трех приложений. Изложена на 214 страницах машинописного текста, содержит 65 рисунков и 18 таблиц. Приложения содержат Акты о внедрении и дипломы.

Автореферат диссертации изложен на 28 страницах.

Во введении обозначена актуальность темы, поставлены цель и основные задачи исследования, представлена научная новизна и значимость исследования, определены методы и методология исследования, выносимые на защиту положения, степень достоверности и обоснованности научных результатов.

В первой главе рассмотрены современные тенденции в производстве строительных материалов на основе пеностекла и методы повышения их конкурентоспособности.

Анализ выявил направления исследований для снижения стоимости производства, улучшения свойств и расширения области применения пеностекла за счет использования более дешевого сырья (цеолитсодержащие и кремнистые породы).

Во второй главе детально рассмотрены основные физико-химические свойства и структурные характеристики используемых материалов, а также методологическая основа исследования. В работе использовались стандартные и современные методы исследования структуры и свойств пористых стеклокерамических материалов, статистические методы обработки результатов экспериментальных исследований.

Для разработки технологии и получения образцов пористой стеклокерамики были использованы цеолитсодержащие (ЦСП) и кремнистые породы пяти месторождений и проявлений Республики Мордовия: три вида цеолитсодержащих пород (Енгальчевское проявление), один вид диатомита (Атемарское месторождение) и один вид опоки (Кулясовское месторождение) влажностью $\leq 1\%$, плавни и корректирующие добавки. В качестве плавней

использовались сода кальцинированная техническая (Na_2CO_3) и термонаитрит ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Массовая доля основного вещества плавней $\geq 99\%$. В качестве корректирующих добавок использовались оксид алюминия (Al_2O_3), гидроксид магния ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), карбонат магния (MgCO_3), хлориды и их кристаллогидраты (NaCl , KCl , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, CaCl_2). Массовая доля основного вещества добавок $\geq 97\%$. В качестве горных пород – модификаторов шихты, были использованы бокситы двух месторождений, мел, каолин и бентониты двух видов.

Технология получения пористых стеклокерамических (ПСК) материалов за один нагрев включает совместный помол ЦСП или кремнистых пород с кальцинированной содой и добавками, а затем обжиг в металлических формах в печи при температуре не более $+850^\circ\text{C}$.

В третьей главе автором представлено научное обоснование технологического решения получения пористых стеклокерамических материалов из цеолитсодержащих и кремнистых пород за один нагрев шихты.

На основе теоретических исследований в этой области были определены четыре ключевых условия для достижения этой цели: 1) низкотемпературный синтез аморфной фазы; 2) присутствие в составе шихты компонентов, которые не реагируют при низкотемпературном синтезе, но диссоциируют с выделением воды или углекислого газа при температурах выше точки размягчения шихты; 3) способность аморфной фазы, образованной после низкотемпературного синтеза, снижать свою вязкость до $\leq 10^7$ Па·с при последующем нагреве; 4) повышенная склонность аморфной фазы к кристаллизации.

Для реализации всех этих условий и получения пористой стеклокерамики из цеолитсодержащих и кремнистых пород за один нагрев, необходимо лишь правильно определить количественное соотношение компонентов в шихте и провести необходимую механоактивацию.

Разработана методика контроля помола шихты для получения пористой стеклокерамики с заданными свойствами. Продолжительность механоактивации шихты можно контролировать методами газопроницаемости,

рентгеновской дифракции и термическим анализом, а также разработанным методом ускоренного вспенивания. Установлены процессы, происходящие в шихте при нагревании после ее механоактивации. Из шихты на основе ЦСП и кальцинированной соды получена анортотазовая пористая стеклокерамика, из пород с кальцитом – волластонитовая и волластонито-комбеитовая. При добавлении магнийсодержащих добавок кристаллизуется диопсидовая стеклокерамика.

В четвёртой главе изучено влияние химического и минералогического состава ЦСП, кремнистых пород и различных добавок на структуру, физико-механические, теплофизические и другие эксплуатационные характеристики образцов пористой стеклокерамики.

Определены зависимости между составом, технологией, структурой и свойствами разработанных пористых стеклокерамических материалов. Эти зависимости определяются содержанием компонентов шихты, методами ее механоактивации и режимами термообработки. В результате получены строительные материалы с кажущейся плотностью от 140 до 410 кг/м³, пределом прочности при сжатии до 13 МПа, коэффициентом теплопроводности 0,05 Вт/(м·К) и выше, максимальной рабочей температурой до +920 °С и морозостойкостью не менее 100 циклов.

Разработаны оптимальные составы шихты для производства пористых стеклокерамических материалов с рекомендациями по соотношению компонентов. Химический состав шихты должен включать: диоксид кремния (SiO₂) в количестве от 50 до 72 %, оксид кальция (CaO) от 0 до 10 %, оксид алюминия (Al₂O₃) от 3 до 17 %, оксид железа (Fe₂O₃) от 0 до 6 %, оксид калия (K₂O) от 0 до 1,8 %, оксид магния (MgO) от 0 до 2,2 % и оксид натрия (Na₂O) от 6 до 13 %.

В пятой главе соискателем исследованы качественные и количественные характеристики химической и биологической устойчивости, а также акустических свойств образцов ПСК. Эти параметры рассмотрены в

зависимости от их химического и минералогического состава, а также структуры.

Все образцы пористой стеклокерамики демонстрируют устойчивость к грибковым поражениям. На их химическую стойкость значительное влияние оказывает фазовый состав. Снижение содержания волластонита, девитрита и нефелина в материале приводит к повышению его химической устойчивости.

Звукоизоляционные характеристики пористой стеклокерамики напрямую связаны с количеством открытых пор в материале. Материалы с высокой открытой пористостью, разработанные для этой цели, могут эффективно использоваться в качестве звукопоглощающих элементов.

Шестая глава исследования посвящена внедрению разработанных композиционных материалов и технологических процессов их получения в промышленное производство строительных материалов.

Разработанная пористая стеклокерамика обладает улучшенными характеристиками по сравнению с существующими материалами. Её предел прочности при сжатии в 2,5 раза превышает показатели ячеистых бетонов автоклавного и неавтоклавного твердения при одинаковой плотности. Кроме того, у нее более чем в два раза больше морозостойкость. По максимальной температуре применения пористая стеклокерамика также превосходит пеностекло.

Полупромышленные испытания технологии производства пористой стеклокерамики позволили составить расчёт затрат на изготовление 1 м³ готового продукта. Себестоимость составила 12 320 рублей, что в 1,5 раза ниже стоимости пеностекла, произведённого по традиционной технологии.

Научная новизна диссертационного исследования

Научная новизна исследования заключается в разработке инновационных методологических подходов к технологии производства пористых стеклокерамических материалов из местных горных пород (цеолитсодержащие и кремнистые). Предложенные методы позволяют значительно снизить

энергозатраты при изготовлении стеклокомпозитов, обладающих высокими физико-механическими и теплофизическими характеристиками, а также высокой эксплуатационной устойчивостью. Экономическая эффективность данных материалов достигается за счет относительно низкой себестоимости их производства, которая обеспечивается посредством сверхтонкого совместного помола цеолитсодержащих и кремнистых пород, плавня (кальцинированная сода, термонатрит), а также различных функциональных добавок, включая хлориды, алюмосиликаты, кальцийсодержащие и магнийсодержащие компоненты. Полученные композиты подвергаются одностадийному обжигу при температуре, не превышающей +850 °С, что способствует достижению оптимального баланса между технологическими параметрами и конечными характеристиками продукции.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается применением методологически обоснованного комплекса стандартных и современных исследовательских методик. В процессе работы было использовано сертифицированное и поверенное оборудование, что гарантирует высокую точность и воспроизводимость результатов. Положительное практическое внедрение разработанных подходов подтверждает их научную и прикладную значимость, а также свидетельствует о высокой степени валидации предложенных решений.

Личное участие автора в получении результатов

Диссертант принимал участие в семи научно-практических мероприятиях всероссийского и международного уровня. Результаты диссертационной работы удостоены дипломов победителя различных конкурсов, в том числе первого места в номинации «Лучший инновационный проект (разработка) в

следующей области: – Новые материалы и технологии, химические продукты, эффективная добыча и глубокая переработка полезных ископаемых, углеводородного сырья» конкурса «Лучший инновационный проект и лучшая научно-техническая разработка года». Диссертантом опубликовано 20 научных работ по теме диссертации, в том числе 10 научных работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук; 6 научных работ в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международных реферативных базах данных и системах цитирования Scopus, WoS. Основные положения и выводы диссертационной работы представлены в опубликованных статьях с достаточной полнотой.

Значимость полученных автором диссертации результатов для развития отрасли строительного материаловедения

Научная значимость исследования заключается в том, что автором теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность получения стеклокерамических материалов за счет сверхтонкого совместного помола цеолитсодержащих и кремнистых пород, плавня и различных добавок с последующим одностадийным обжигом.

Представлены доказательства, расширяющие понимание процессов формирования структуры стеклокерамических материалов из цеолитсодержащих и кремнистых пород и увеличивающие область применения полученных результатов. Выявлены новые закономерности взаимосвязи состава, структуры и свойств указанных пород с технологическими процессами их активации, что оказывает влияние на характеристики стеклокерамических материалов. Подтверждена перспективность использования комплекса добавок в составе стеклокерамических материалов, что способствует улучшению их структуры и свойств по сравнению с ранее разработанными прототипами других авторов.

Результаты исследования успешно внедрены в производство, что подтверждает их практическую значимость и потенциал для дальнейшего применения в соответствующих отраслях. Партия образцов пористой стеклокерамики была выпущена на производственной базе общества с ограниченной ответственностью «Ост Клинкер», расположенной в селе Ельники Ельниковского района Республики Мордовия. Продукция представлена в двух формах: в виде блоков размерами 510×200×250 мм и плит размерами 510×510×100 мм. Материалы характеризуются кажущейся плотностью, не превышающей 280 кг/м³, и пределом прочности при сжатии не менее 3,5 МПа. Техническое новаторство предложенных решений подтверждено патентом Российской Федерации на изобретение № 2836963, выданным 24 марта 2025 года.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы, имеющей прикладной характер

Предложенная технология и составы для получения пористой стеклокерамики на основе цеолитсодержащих и кремнистых пород рекомендованы к промышленному производству.

Разработанная пористая стеклокерамика представляет собой инновационный строительный материал, созданный исключительно из отечественных природных ресурсов. В его состав входят цеолитсодержащие, кремнистые и карбонатные породы, глины и кальцинированная сода. Запасы данных сырьевых компонентов на территории Российской Федерации значительны, а их добычу можно осуществлять открытым способом, минимизируя затраты и повышая экологическую устойчивость производства.

Технология получения пористой стеклокерамики характеризуется высокой степенью инновационности и одновременно простотой реализации. Она включает в себя последовательные этапы сухого помола цеолитсодержащих и кремнистых пород и кальцинированной соды с последующим обжигом при

контролируемых температурных режимах. Такая методология позволяет достичь уникальных физико-механических свойств материала, включая высокую пористость и низкую теплопроводность.

Перспективы промышленного производства разработанной пористой стеклокерамики весьма обнадеживающие. В ближайшие годы можно ожидать внедрения производственных мощностей в различных регионах Российской Федерации, что обеспечит независимость от импортных поставок сырья и технологического оборудования. Это, в свою очередь, будет способствовать не только экономическому росту и социальному развитию страны, но и укреплению ее технологического суверенитета в сфере строительных материалов.

Применение пористой стеклокерамики в строительной отрасли открывает широкие возможности для ее использования в качестве высокоэффективного теплоизоляционного и конструкционно-теплоизоляционного материала. Его уникальные свойства, такие как низкая теплопроводность и малый удельный вес, делают его особенно перспективным для применения в условиях Крайнего Севера и Арктики. В северных регионах, где климатические условия характеризуются экстремальными температурами, использование пористой стеклокерамики позволит значительно сократить энергозатраты на отопление зданий, а также оптимизировать сроки и стоимость строительных работ за счет легкости монтажа.

Таким образом, разработанная пористая стеклокерамика представляет собой многообещающий материал, обладающий высоким потенциалом для применения в различных отраслях промышленности. Ее уникальные свойства и возможность использования отечественного сырья делают ее перспективным направлением для развития строительной индустрии и укрепления технологического суверенитета Российской Федерации.

Замечания по диссертационной работе

1. Во многих разделах диссертации представленная нумерация испытанных составов имеет вид С1, С2, С3..., однако одноименные составы отличаются по количественному содержанию компонентов. Данное обстоятельство существенно затрудняет процесс восприятия информации. Было бы правильнее привести сквозную нумерацию составов.

2. Рисунок 4.10 (стр. 108) сильно перегружен информацией и недостаточно детализирован, что затрудняет восприятие. Также в тексте диссертации имеются незначительные опечатки.

3. При определении тонкости помола методом рентгеновской дифрактометрии, автором удалось установить качественные и количественные зависимости изменения размеров только кристаллитов кальцита. Автор обосновывает это тем, что интенсивности линий кристаллитов других фаз перекрываются друг другом, что затрудняет использование данного метода для определения их размеров. Однако, согласно РФА (рис. 3.5, стр. 75), пики кристаллитов гейландита также не перекрываются пиками других фаз, но зависимости изменения размеров кристаллита гейландита не приведены.

4. Автор в качестве модификаторов шихты использует хлориды в количестве до 0,37 % от массы шихты. В то же время, в качестве плавня используется сода кальцинированная техническая марки Б, которая согласно ГОСТ 5100–85 может содержать в своем составе до 1,5 % NaCl. В тексте диссертации не уточняется, должны ли хлориды вводиться дополнительно к тем, что уже присутствуют в соде, или их количество определяется содержанием хлоридов в соде.

5. При определении звукопоглощающих свойств полученных материалов использовались образцы с открытой пористостью до 18,3 %. Автор указывает, что звукопоглощающие свойства образцов пористой стеклокерамики находятся в прямой зависимости от открытой пористости материала. Согласно тексту диссертации, открытая пористость стеклокерамических материалов из цеолитсодержащих и кремнистых пород может достигать 70 %. С учетом

вышеизложенного, представляется целесообразным при проведении эксперимента использовать образцы с максимально возможным уровнем открытой пористости для достижения более точных и репрезентативных результатов исследования.

Сделанные замечания не снижают научную и практическую значимость диссертационного исследования, выполненного А.А. Ермаковым.

Заключение о соответствии диссертации критериям

«Положения о порядке присуждения ученой степени»

Анализ работы позволяет сделать вывод, что диссертация «Пористые стеклокерамические строительные материалы на основе цеолитсодержащих и кремнистых пород» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения получения пористых стеклокерамических материалов из цеолитсодержащих и кремнистых пород за один нагрев шихты, отличающихся высокими физико-механическими, теплофизическими, гидрофизическими свойствами, а также относительно низкой себестоимостью производства, имеющие существенное значение для развития страны. Полученные в диссертации выводы и предлагаемые технологические решения обладают научной новизной, а также расширяют и дополняют теоретические представления в исследуемой области.

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия (технические науки), в частности пунктам направления исследований: п. 1, п. 3, п. 5, п. 6, п. 9.

Учитывая актуальность решенных вопросов, научную новизну, теоретическую и практическую значимость полученных результатов, считаем, что диссертационная работа соответствует критериям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842), предъявляемым к работам, представленным на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Ермаков

Анатолий Анатольевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия.

Диссертация, автореферат и отзыв на диссертацию рассмотрены и одобрены на расширенном заседании кафедры «Строительное материаловедение, изделия и конструкции» инженерно-строительного института федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», протокол № 8 от 12 января 2026 г.

Присутствовало на заседании 16 человек, в том числе пять докторов наук и восемь кандидатов наук по научной специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия (технические науки). Результаты голосования: за – 16 человек, против – нет, воздержавшиеся – нет.

Заведующий кафедрой «Строительное материаловедение, изделия и конструкции»;

д-р техн. наук (05.23.05), профессор,

заслуженный деятель науки РФ;

чл.-кор. Российской академии архитектуры

и строительных наук



Подпись *Лесовика В.С.*
удостоверяю
начальник общего отдела

Лесовик Валерий Станиславович

12.01.2026 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им.

В.Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г. Шухова; Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России)

308012, Белгородская область, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, БГТУ им. В.Г. Шухова

<https://www.bstu.ru>

+7 (4722) 54-20-87; +7 (4722) 54-52-27

С отзывом вернулось организации 4 февраля 2026 года. АЗ